干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000－6060.2019.03.08

近25 a来新疆农作物水足迹与经济增长的空间关系分析①

王　杰[1]，　龙爱华[1,2]，　杨　广[1]，　邓晓雅[2]，
张　沛[2]，　海　洋[2]，　李　扬[2]
（1　石河子大学水利建筑工程学院，新疆　石河子　832000；　2　中国水利水电科学研究院，北京　100038）

摘　要：水—经济空间关系是干旱区与半干旱区水资源研究的热点，揭示水—经济空间分布演变规律和因果关系，可为优化水资源合理配置、合理部署产业结构调整政策提供理论和决策参考。研究应用水足迹理论，核算新疆各地州1991—2015年农作物水足迹，结合信息熵值理论分析新疆各地州农作物水足迹、国内生产总值、第一产业增加值其熵值的空间演变规律及因果关系。结果表明：新疆农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值空间演变整体向着均衡有序的方向发展，水—经济的空间不均衡性逐步缩小；新疆农作物水足迹显著影响其第一产业增加值空间演变，影响期1～5 a，农业经济空间分布受农业用水空间分布的长期制约；农作物水足迹和国内生产总值没有空间演变因果关系，全疆经济发展向着第二产业、第三产发展转型，农业经济不再显著影响全疆经济发展。

关 键 词：　水资源；空间分析；协整方程；农作物水足迹；滞后期；新疆
文章编号：　1000－6060(2019)03－0526－08(0526～0533)

中国是全球水资源短缺国家之一，人均水资源量约为2 200 m仅为世界平均水平的25%，且水资源时间、空间分布上极其不均衡，在干旱区尤为突出，水资源更为匮乏，对经济可持续发展构成严重威胁[1-2]。在干旱区，农业用水占总用水量95%左右，农业经济占据经济总量的一定份额，搞清楚农作物用水量与经济的空间分布两者演变规律，对于经济发展部署、产业结构调整及其社会公平发展等尤为的重要。

国内学者对于水资源与经济演变规律研究较多，且研究主要在全国层面与区域层面展开分析。全国层面上，吴丹[3]通过建立水资源—经济发展脱钩分析模型，分析了中国1953—2010年经济发展与水资源利用的脱钩时态变化，并从系统的角度，分析了经济—水资源利用脱钩的内在机理。陈威[4]等通过计算脱钩指数，分析2005—2014年水资源利用与经济增长脱钩势态，结果表明，农业经济增长更依赖于水资源使用相比于工业，因此，工业化的发展可满足在水资源利用总量不变的前提下，保持经济持续增长的要求。潘丹[5]等构建农业经济增长—水资源利用省级面板空间VAR模型，结果表明，1998—2009年农业经济增长与水资源的利用存在内在的因果关系且东、中、西部处于长期协整态势。在区域层面，许长新[6]等使用空间计量模型，并在农业生产经济考量中加入物、财、人控制变量，对农业经济增长与水土匹配空间溢出效应进行测度，结果表明，水土匹配度对于区域内与区域外农业经济发展具有很高的显著性。张羽威[7]等运用GIS空间技术方法，对新疆各地州的水资源利用与国内生产总值进行空间关联测度，结果表明，水资源利用与各地州的国内生产总值空间分布不均衡，经济上，第二产业与第三产业与国内生产总值有一定的关联性，水资源利用上，水资源利用总量与农业经济用水在空间具有正相关性，具有空间聚集性。孟武[8]使

①　**收稿日期：**2018－05－11；　**修订日期：**2018－07－03
基金项目：国家科学面上基金(51476209,51609260)；国家十三五国家重点专项课题(2017YF0404301)联合资助
作者简介：王杰(1990－)，男，汉族，硕士研究生，主要从事社会水循环、水资源规划与配置研究工作. E-mail:939595628@qq.com
通讯作者：龙爱华. E-mail：ahlong@iwhr.com

用 LMDI 分解模型分析,从三个影响因数(技术效率效应、产业结构效应、经济规模效益)对山东省 1996—2013 年工业用水量在时间与空间演变格局的机理上进行探究,结果表明,技术效率效应是工业用水强度减少的因数,产业结构效应与经济规模效应是工业用水强度增加的因数,其中经济规模效应是工业用水强度增加的主要原因。孙才志[9]等运用泰尔指数与基尼系数计算方法,对中国近 11 a 水足迹强度在空间格局演变进行了分析,结果表明,中国水足迹强度整体上呈现快速下降的趋势,说明水资源的利用效率在不断提高但是具体各区域其发展是不平衡的。赵良仕[10]等基于空间效应测度方法,对中国省际间的水足迹强度与经济增长收敛关系进行分析,结果表明,中国各省市年际水足迹强度整体呈现出下降的趋势,水资源的利用效率显著提高。吴兆丹[11]等以经济区域分析层次视角,对中国水足迹空间差异性进行研究,结果表明,经济区域间差异是水足迹空间差异主要因素。

当前研究虽然发现了水与经济的空间关联关系,但均没有揭示水足迹空间分布与经济空间分布内在演变规律与因果关系。农作物水足迹反映了农业用水的真实占用情况,一产增加值反映了农业经济发展水平,国内增加值反映了新疆的经济增量水平,本文拟在采用信息熵理论对新疆各地州农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值进行归一化处理,分别得到其熵值空间分布信息的基础上,应用计量经济学方法对其进行协整检验与格兰杰因果分析,以揭示新疆的农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值在空间上演化的内在动力与原因,分析农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值空间发展的规律与因果关系,以期为干旱区水—经济协调发展提供理论依据与决策参考。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

新疆位于中国的西北部(73° ~ 96° E,34° ~ 48°N),省域面积 166 × 10^4 km^2,南部的昆仑山系,中部的天山,北部的阿尔泰山,形成了“三山夹两盆”的地理空间分布态势。高山的环绕和远离海洋等其固有的自然地理属性,形成了干旱与半干旱地理格局,其水资源十分匮乏。在盆地内,水的产流主要通过高山融雪融冰,其形成的河流是典型的内陆河,起于高山,消散于盆地,受人类生产活动的影响,改变了原有的自然水循环的通量结构,增加人工侧支水循环通量,有水则为绿洲,无水皆为荒漠的事实,形成了“绿洲经济,灌溉农业”经济形式与农业生产方式,农业用水与生态环境用水矛盾突出,水维持经济发展刚性需求日渐增加。

1.2　研究方法

1.2.1　*农作物水足迹核算方法*　本文农作物水足迹核算采用蒸发蒸腾量(ET_c)的农作物生产水足迹计算方法。此方法通过作物单位面积的产量与田间尺度上蒸腾蒸发进行计算,可以参照《The water footprint assessment manual; Setting the global standard》中的方法进行量化[12],主要计算过程如下:

$$WF = WF_{green} + WF_{blue} \tag{1}$$

式中:WF_{green}为作物绿水足迹($m^3 \cdot kg^{-1}$);WF_{blue}为作物蓝水足迹($m^3 \cdot kg^{-1}$)。

$$WF_{green} = CWU_{green}/Y = 10ET_{green}/Y \tag{2}$$

$$WF_{blue} = CWU_{blue}/Y = 10ET_{blue}/Y \tag{3}$$

式中:CWU_{blue}、CWU_{green}、分别为农作物所消耗的蓝、绿水资源量($m^3 \cdot hm^{-2}$);Y 为作物单位面积产量($kg \cdot hm^{-2}$);10 为单位转化系数,将单位由水深(mm)转化为单位面积水量($m^3 \cdot hm^{-2}$)。

ET_{green}、ET_{blue}分别为作物蒸发蒸腾中来自有效降水和灌溉水的部分(mm)。

$$ET_{green} = \min(ET_c, P_e) \tag{4}$$

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_e) \tag{5}$$

式中:ET_c 为作物蒸发蒸腾量(mm);P_e 为作物生育期有效降水量(mm)。ET_c 计算公式见下式:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \tag{6}$$

式中:K_c 为作物系数;ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量(mm)。CROPWAT 模型是使用本地区气象资料,利用彭曼公式计算参考作物蒸腾蒸发量。

P_e 根据美国农作物部土壤保持(USDASCS)提出的方法计算:

$$P_{dec} = \begin{cases} \dfrac{P_{e(dec)} \times (125 - 0.6 \times P_{e(dec)})}{125} & P_{e(dec)} \leqslant \left(\dfrac{250}{3}\right) \\ \dfrac{125}{3} + 0.1 \times P_{e(dec)} & P_{e(dec)} > \left(\dfrac{250}{3}\right) \end{cases} \tag{7}$$

式中:P_{dec} 为旬降水量(mm);$P_{e(dec)}$ 为旬有效降水

量,作物生育期内的有效降水量可由各旬有效降水累加得到。

1.2.2 信息熵计算方法 信息熵是信息论中用于度量信息量的概念,不确定性越大,熵值也越大,信息量越小;反之不同,因此,信息熵可以作为一个指标来判断某个指标系统多样性与离散的程度。本研究的农作物水足迹、一产增加值、国内增加值由各地州分别累计得到,属于总—分层次,因此可采用信息熵理论进行归一化处理,同时近 25 a 的统计数据满足数据处理要求,从而可将空间分布信息蕴藏于信息熵中,因此可用之进行经济计量分析。新疆农作物水足迹结构熵用 X 定义为:

$$X = -\sum_{1}^{n} P_i \ln(P_i) \tag{8}$$

式中:P_i 为第 i 地区的农作物水足迹所占的比重;n 为代表有 n 个地区。

新疆第一产业增加值熵 Y 定义为:

$$Y = -\sum_{1}^{m} P_i \ln(P_i) \tag{9}$$

式中:P_i 为第 i 地区第一产业增加值熵所占的比重;m 为地区数目。

新疆地区国内生产总值熵 Z 定义为:

$$Z = -\sum_{1}^{s} P_i \ln(P_i) \tag{10}$$

式中:P_i 为第 i 地区地国内生产总值熵;s 为代表有 s 个地区。

1.3 数据来源

本次分析的数据来源主要有:(1)农作物蒸散量计算的数据为 1991—2015 年新疆境内 74 个国家气象站观测逐日数据,包括降雨量、日照时数、平均风速、相对湿度、最高最低温度等。(2)计算中涉及的主要农作物包括小麦、玉米、稻谷、薯类、豆类、棉花、油料、蔬菜、果用瓜、苹果、梨、葡萄、红枣、苜蓿、麻和药材等近 20 种,产量资料源于《新疆自治区统计年鉴》和《新疆生产建设兵团统计年鉴》。(3)国内生产总值和与第一产业增加值及水资源利用数据源于《新疆水资源公报》和 1992—2016 年新疆统计年鉴。

2 结果分析

2.1 新疆农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值变化

计算结果(图 1)表明,25 a 来新疆农作物水足迹呈现显著增长趋势,2015 年全疆农作物水足迹达到 465×10^8 m^3,比 1991 年增加了 275×10^8 m^3,年增长率为 11%;尤其在 2006—2014 年的 9 a 时间内,随着新疆境内人口的快速增长,农作物机械化水平、农田水利工程完善程度、高效节水规模和总灌溉面积等的迅速提高,新疆农作物水足迹呈现越来越快的增长趋势。同期,全疆国内生产总值、第一产业增加值整体虽然均呈现增加趋势,但国内生产总值增长速度明显高于第一产业增加值,前者与后者比值 1991 年为 3.1 倍,2015 为 6.3 倍,表明 1991—2003 年传统农作物经济占有相当高的比重。2004—2015 年后随着新型工业化与现代服务业的快速推进,第二、第三产业的发展成为新疆经济增长的主要推动力,新疆产业结构向着第二与第三产业转型,而第一产业产生的价值虽然在不断增长,但其对带动全疆经济发展的相对贡献日渐下降。

2.2 农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值的熵值演变

1991—2015 年新疆农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值各自的熵值计算结果(图2)表

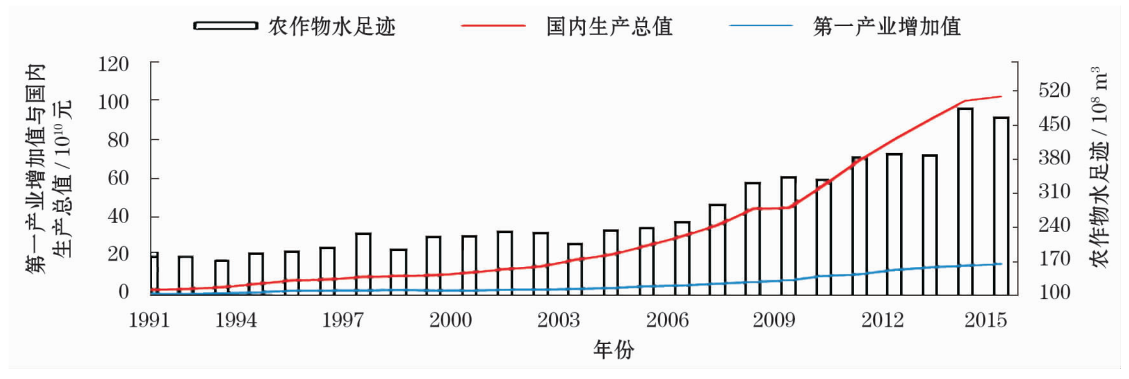


图 1 农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值年际变化

Fig. 1 Interannual variability of crop water footprint, value added of primary industry and GDP

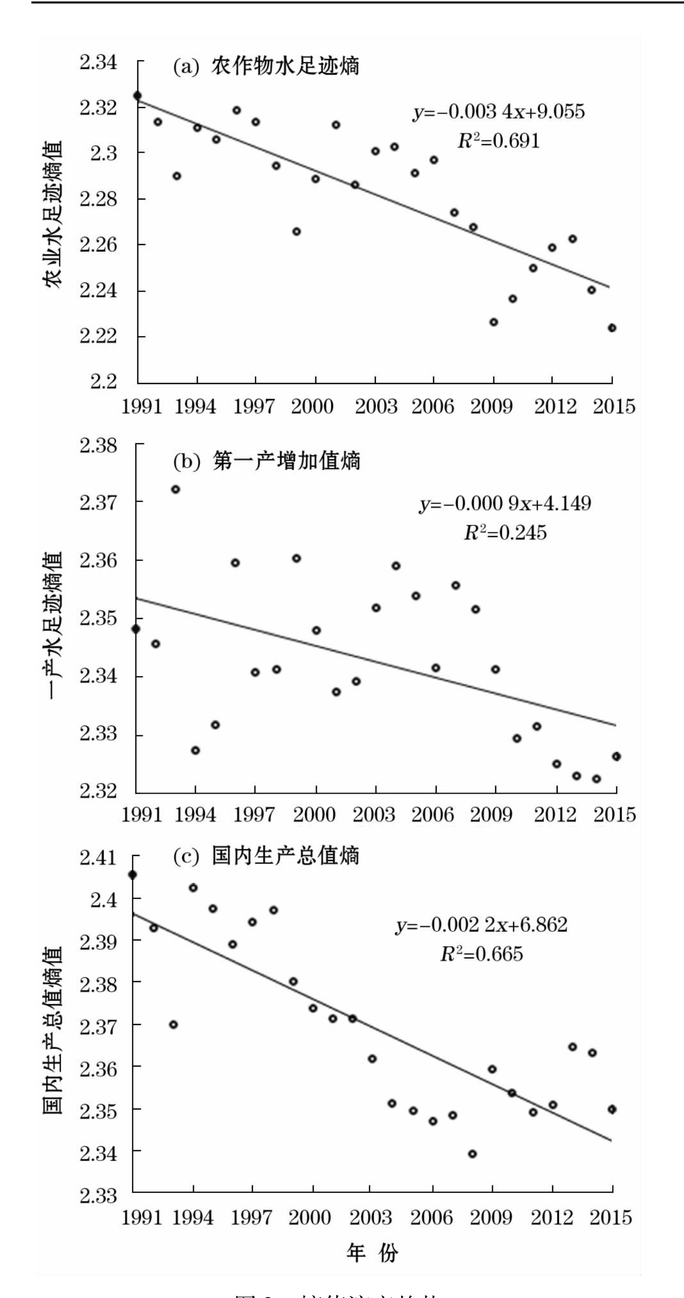


图2　熵值演变趋势

Fig. 2　Evolution trend of entropy value

明,近30 a三者的熵值总体均呈现下降趋势,其中:农作物水足迹熵总体由1991年的2.325减小到2015年的2.224,但其熵值呈波动变化,例如2009—2013年5 a期间是呈现上升的。全疆农作物水足迹熵值总体呈现下降的趋势的主要原因是由于各地州(尤其是喀什、阿克苏、巴州、昌吉、伊犁、塔城、阿勒泰)农作物水足迹增长量逐年增加,各地州农作物水足迹的分布向着均衡方向发展,使其熵值减少;但从南、北、东疆区域分析,南疆农作物水足迹占全疆农业水足迹增量的60%,其发展趋势向着不均衡方向发展。

由于各地州总灌溉面积与节水灌溉的时空差异(不同步),加上农作物技术水平、自然气候、灌溉保证率、交通运输、市场价格变动等诸多因素的影响,虽然新疆是农作物大区,但具体到14个地州(市),农作物增加值规模差异较大,从而使第一产业增加值的熵值呈现较高的波动。从2006年后,全疆各地州均将扩大农作物规模、实施农作物特色化与产业化作为农业发展的重点,从而使灌溉保证率、国家援疆政策、市场开拓、交通条件等长期制约大部分地州农作物发展的因素整体得以大幅度改善,各州尤其是长期农作物增加值较小的地州获得了规模化的增长,从而从2007—2014年全疆第一产业增加值熵开始出现整体明显下降趋势。

国内生产总值熵值由1991年的2.348下降到2015年的2.326,年均下降率0.04%,在1998—2008年具有明显的下降趋势,其他年份出现波动。国内生产总值熵值整体出现下降趋势的原因在于,以天山北坡经济带快速发展拉动了北疆城市圈(昌吉、乌鲁木齐、伊犁、塔城、克拉玛依)等地经济社会的加速发展,从"一核(乌鲁木齐)"向经济圈式的多核经济发展,使得发展趋于均衡稳定,因而国内生产总值熵值整体下降。

2.3　农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值的熵值计量经济学分析

从前述2.1与2.2节的趋势分析看出,农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值之间,无论各自的绝对值还是熵值,均呈现相同的增长或下降趋势,三者之间是否存在虚假趋同?为此本节首先对农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值的熵值进行平稳性检验,其后通过协整检验来探明二者是否存在长期稳定的比例关系,最后通过因果关系检验农作物水足迹与其他二者之间是否存在因果关系。

2.3.1　*农作物水足迹和第一产业增加值、国内生产总值平稳性检验*　统计学中,迪基—福勒检验可以判断一个自回归模型是否存在单位根,进一步扩展的迪基—福勒检验称为增广迪基—福勒检验,即*ADF*检验,可用于排除自相关的影响。

采用*ADF*检验以及*AIC*定阶准则,对新疆1991—2015年的农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值熵值序列分别进行单位根检验,结果如表1所示。新疆农作物水足迹与第一产业增加

表1　农作物水足迹与第一产业增加值、国内生产总值的熵值单位根检验结果

Tab.1　Unit root test results of crop water footprint and the primary industry added value and GDP entropy

序列	*ADF* 检验值	1% 显著水平	5% 显著水平	10% 显著水平	判断结果
X	-1.242 903	-3.737 853	-2.991 878	-2.635 542	不稳定
DX	-5.135 672	-3.752 946	-2.998 064	-2.638 752	稳定
Y	-3.103 043	-3.737 853	-2.991 878	-2.635 542	不稳定
DY	-8.167 465	-3.769 597	-3.004 861	-2.642 242	稳定
Z	-3.868 873	-4.394 309	-3.612 199	-3.243 079	不稳定
DZ	-5.838 425	-3.7 52 946	-2.998 064	-2.638 752	稳定

表2　1991—2015年农作物水足迹和第一产业增加值熵残差单位根检查结果

Tab.2　1991—2015 annual unit crop water footprint and the primary added vlue entropy residuals, unit root test results

方程形式	*ADF* 检验值	1% 显著水平	5% 显著水平	10% 显著水平	判断结论
无常数项无时间趋势	-4.336 742	-2.664 853	-1.955 681	-1.608 793	稳定
有常数项无时间趋势	-4.294 781	-4.394 309	-3.612 199	-3.243 079	不稳定
有常数项有时间趋势	-4.241 212	-3.737 853	-2.991 878	-2.635 542	稳定

表3　1991—2015年农作物水足迹和国内生产总值熵残差单位根检查结果

Tab.3　1991—2015 unit root test results of crop water footprint and GDP entropy residuals

方程形式	*ADF* 检验值	1% 显著水平	5% 显著水平	10% 显著水平	判断结论
无常数项无时间趋势	-2.402 516	-2.664 853	-1.955 681	-1.608 793	不稳定
有常数项无时间趋势	-2.228 529	-4.394 309	-3.612 199	-3.243 079	不稳定
有常数项有时间趋势	-2.356 243	-3.737 853	-2.991 878	-2.63 5542	不稳定

值、国内生产总值熵值均为不平稳序列，但一阶差分序列均为平稳列，即为一阶单整序列，因此可以对其进行协整分析。

2.3.2　农作物水足迹和第一产业增值、国内生产总值熵值的协整分析

（1）农作物水足迹和第一产业增加值熵协整分析。

通过普通最小二乘法（OLS ordinary least square）回归得到农作物水足迹和第一产业增加值熵的协整方程，如下：

$$Y = 1.925 + 0.183X$$

$$t = 9.8 \quad t = 2.14 \quad R^2 = 0.167 \quad F = 4.6$$

（2）农作物水足迹和国内生产总值熵协整分析。通过普通最小二乘法（OLS ordinary least square）回归得到农作物水足迹和第一产业增加值熵的协整方程，如下：

$$Z = 1.407 + 0.422X$$

$$t = 5.594 \quad t = 3.83 \quad R^2 = 0.39 \quad F = 14.65$$

通过对协整方程的残差进行单位根检验以来判断其协整关系是否成立。从检验结果（表3）看出，农作物水足迹和国内生产总值熵残差为不平稳序

表4　1991—2015年农作物水足迹和第一产业增加值熵格兰杰检验结果

Tab.4　1991 -2015 crop water footprint and the Primary industry added value entropy Granger test results

滞后期	零假设	*F* 统计量	*P* 值	决策
1	*Y* 不是 *X* 的格兰杰原因	1.98 808	0.1 732	接受
	X 不是 *Y* 的格兰杰原因	7.10 222	0.0 145	拒绝
2	*Y* 不是 *X* 的格兰杰原因	1.03 505	0.3 754	接受
	X 不是 *Y* 的格兰杰原因	6.05 904	0.0 097	拒绝
3	*Y* 不是 *X* 的格兰杰原因	1.03 505	0.3 754	接受
	X 不是 *Y* 的格兰杰原因	6.05 904	0.0 097	拒绝
4	*Y* 不是 *X* 的格兰杰原因	0.44 855	0.7 717	接受
	X 不是 *Y* 的格兰杰原因	4.34 608	0.0 211	拒绝
5	*Y* 不是 *X* 的格兰杰原因	0.27 185	0.9 173	接受
	X 不是 *Y* 的格兰杰原因	3.82 846	0.0 389	拒绝
6	*Y* 不是 *X* 的格兰杰原因	0.73 119	0.6 432	接受
	X 不是 *Y* 的格兰杰原因	3.38 431	0.0 818	接受

列,因为二者之间不存在协整关系,所以二者不存在一个长期稳定的比例关系,也即农作物水足迹和国内生产总值熵不存在格兰杰因果关系检验的前提,进而只需对农作物水足迹和第一产业增加值熵进行格兰杰因果分析。

2.3.3　农作物水足迹和第一产业增加值熵的格兰杰因果分析　第一产业增加值与农作物水足迹熵的格兰杰因果分析选取滞后期为 1 ~6 阶,显著水平选择 5%,检验结果(表 4)表明,1991—2015 年的 25 a 间,滞后期为 1 ~5 阶时,新疆农作物水足迹熵值一直是第一产业增加值熵值的格兰杰原因;而当滞后期为 6 阶时,农作物水足迹熵与第一产业增加值熵互不为格兰杰原因。由此表明,新疆农作物水足迹熵显著影响其第一产业增加值,影响期可长达 5 a。由于农作物产品生产消耗的水量凝结在商品中进行流通,其中一部分并不被当年所消耗,而是以产品的形式储存起来,随着产品贸易流通逐渐被消耗实现其商品经济价值,其商品经济价值才进一步被深加工延长附加值链条,说明第一产业增加值熵值受农作物水足迹熵的影响较大。对于产品中储存虚拟水量(区域内并不被当年所消耗),多数学者并没有意识到储存虚拟水量对于经济发展的贡献。由于这一部分本身难以计算,多数学者从计算方法与统计数据来因此简单地认为区域生产出来的产品的虚拟水量减去出口的虚拟水量,剩下全部用于消费[13-14]。上述分析从侧面反映出储存的虚拟水量不容忽视(图 3)。

3　结论与启示

3.1　结 论

(1) 1991—2015 年,新疆农作物水足迹整体呈现出增加的趋势,2015 年为 465 $\times 10^8$ m^3 比 1991 年多 275 $\times 10^8$ m^3,年增长率为 11%。

(2) 1991—2015 年,新疆农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值熵值的整体表现为同时下降的趋势,表明新疆农作物水足迹、第一产业增加值、国内生产总值在空间上(各地州)向着均衡方向发展。从区域南、北、东疆空间分析看,南疆作为农业用水大区,而北疆是新疆经济发展的核心区这一"水—经济"格局,逐步趋于稳定。

(3) 1991—2015 年,新疆国内生产总值与农作物水足迹熵之间不存在协整关系,而农作物水足迹熵与第一产业增加值熵存在长期的协整关系,表明了新疆农作物水足迹与国内生产总值空间分布具有均衡发展关系,其深层原因在于新疆灌溉农业、绿洲经济这一特点所致。尽管全疆各地州经济发展参差不齐,但农业经济主要受各地州水资源禀赋影响,近 25 a 来涉农政策及发展方式下,各地州农业经济在空间分布上日益趋向均衡,进一步的检验表明,1991—2015 农作物水足迹熵是第一产业增加值熵格兰杰原因,而第一产业增加值熵不是农作物水足迹的格兰杰原因,农作物水足迹空间布局的变化对第一产业增加值空间分布变化有更为显著的影响,其影响期为 1 ~5 a。

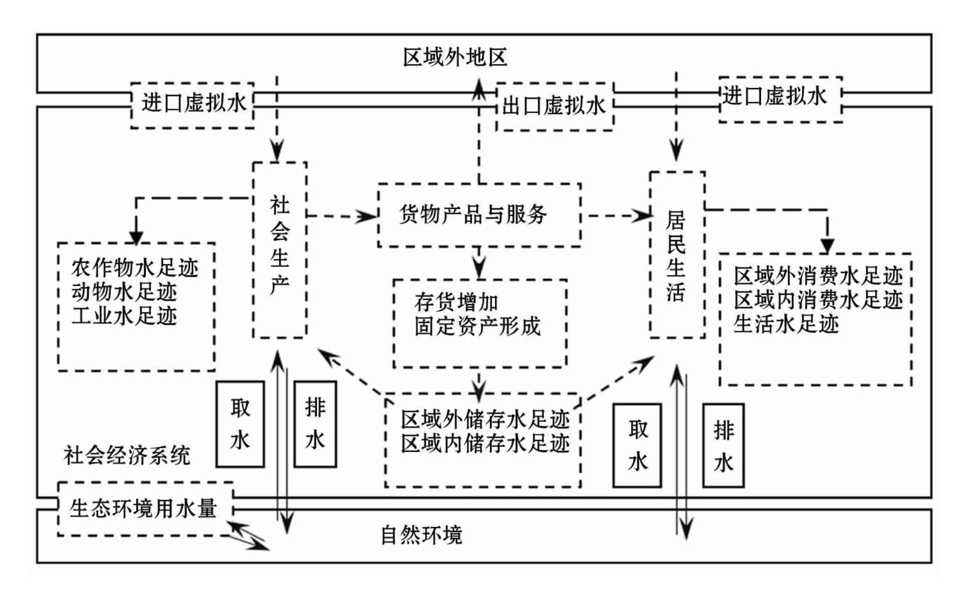


图 3　区域水足迹构成、循环示意图

Fig. 3　Composition and circulation diagram of the water footprint in the region

3.2 启示

随着新疆经济结构的不断调整，以北疆工业经济发展和南疆特色农作物经济的逐步强化，全疆形成的水—经济发展空间格局在空间演变日益趋于稳定。新疆农作物经济发展是以初级产品贸易为特征的输出型经济，其产业链条短，获取的附加值低，使得新疆农业经济是以不断扩大灌溉规模、刚性增加用水来实现和维持的。今后，新疆农作物发展的必须深挖初级产品经济附加值，延长产业链，才能充分发挥优良光热土地资源下的新疆农作物潜在高价值；今后整体新疆经济发展应逐步由当前的刚性的扩大规模、资源消耗型经济增长方式，尽快过渡到“要经济，要生态，要公平，要稳定”的全局性经济发展方式上来。

参考文献(References)

[1] 邱汉学，王秉忱. 干旱区水资源开发利用与可持续发展[J]. 海洋地质与第四纪地质，1998，(4)：97－108. [QIU Hanxue, WANG Bingchen. Water resources development and utilization and sustainable development in arid area[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1998, (4): 97－108.]

[2] 杨淑英，张增强. 我国水资源面临的问题与对策[J]. 环境保护，1997，(11)：6－8. [YANG Shuying, ZHANG Zengqiang. Problems and countermeasures of water resources in China[J]. Environmental Protection, 1997, (11): 6－8.]

[3] 吴丹. 中国经济发展与水资源利用脱钩态势评价与展望[J]. 自然资源学报，2014，(1)：46－54. [WU Dan. Evaluation and prospect of decoupling situation of China's economic development and water resources utilization[J]. Journal of Natural Resources, 2014, (1): 46－54.]

[4] 陈威，常建军. 基于脱钩指数的中国水资源利用与经济增长研究[J]. 中国农村水利水电，2016，(10)：116－118. [CHEN Wei, CHANG Jianjun. Research on water resources utilization and economic growth based on decoupling index in China[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016, (10): 116－118.]

[5] 潘丹，应瑞瑶. 中国水资源与农业经济增长关系研究——基于面板VAR模型[J]. 中国人口·资源与环境，2012，137(1)：161－166. [PAN Dan, YING Ruiyao. Study on the relationship between water resources and agricultural economic growth in China: Based on the panel VAR model[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 2012, 137 (1): 161－166.]

[6] 许长新，林剑婷，宋敏. 水土匹配、空间效应及区域农业经济增长——基于中国2003—2013的经验分析[J]. 中国人口资源与环境，2016，26(7)：153－158. [XU Changxin, LIN Jianting, SONG Min. Soil and water matching, spatial effect and regional agricultural economic growth: Based on China's 2003—2013 experience analysis[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 2016, 26 (7): 153－158.]

[7] 张羽威，张昊哲. 新疆经济发展与水资源利用空间关联性研究[J]. 哈尔滨工业大学学报：社会科学版，2018，20(2)：129－134. [ZHANG Yuwei, ZHANG Haozhe. Study on spatial correlation between economic development and water resources utilization in Xinjiang[J]. Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2018, 20 (2): 129－134.]

[8] 孟武. 山东省工业经济增长的水资源效应及时空演变分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报，2015，38(4)：37－39. [MENG Wu. Water resources effect and temporal spatial evolution of industrial economic growth in Shandong Province[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2015, 38 (4): 37－39.]

[9] 孙才志，刘玉玉，陈丽新，等. 基于基尼系数和锡尔指数的中国水足迹强度时空差异变化格局[J]. 生态学报，2010，30(5)：1312－1321. [SUN Caizhi, LIU Yuyu, CHEN Lixin, et al. Spatial and temporal variation pattern of Chinese water footprint based on Gini coefficient and SIL index[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30 (5): 1312－1321.]

[10] 赵良仕，孙才志，郑德凤. 中国省际水足迹强度收敛的空间计量分析[J]. 生态学报，2014，34(5)：1085－1093. [ZHAO Liangshi, SUN Caizhi, ZHENG Defeng. Spatial econometric analysis of inter provincial water footprint intensity convergence in China[J]. Acta Zoology Sinica, 2014, 34 (5): 1085－1093.]

[11] 吴兆丹，王张琪，UPMANU Lall，等. 生产视角下的中国水足迹空间差异研究——基于经济区域分析层次[J]. 资源科学，2015，37(10)：2039－2050. [WU Zhaodan, WANG Zhangqi, UPMANU Lall, et al. Study on the spatial difference of China's water footprint from the perspective of production: Based on the economic regional analysis level[J]. Resources Science, 2015, 37 (10): 2039－2050.]

[12] 吴普特，孙世坤，王玉宝，等. 作物生产水足迹量化方法与评价研究[J]. 水利学报，2017，48(6)：651－660. [WU Pute, SUN Shikun, WANG Yubao, et al. Quantitative method and evaluation of water footprint in crop production[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48(6): 651－660.]

[13] 韩舒，师庆东，于洋，等. 新疆1999—2009年水足迹计算与分析[J]. 干旱区地理，2013，36(2)：364－370. [HAN Shu, SHI Qingdong, YU Yang, et al. Calculation and analysis of water footprint in Xinjiang from 1999 to 2009[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(2): 364－370.]

[14] 王新华，徐中民，龙爱华. 中国2000年水足迹的初步计算分析[J]. 冰川冻土，2005，27(5)：774－781. [WANG Xinhua, XU Zhongmin, LONG Aihua. Preliminary analysis of water footprint of China in 2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(5): 774－781.]

Spatial relationship between crops water footprint and economic growth in Xinjiang in recent 25 years

WANG Jie[1], LONG Ai-Hua[1,2], YANG Guang[1], DENG Xiao-Ya[2], ZHANG Pei[2], HAI Yang[2], LI Yang[2]

(1 *Shihezi University Water Conservancy and Construction Engineering College*, *Shihezi* 832000, *Xinjiang*, *China*;
2 *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Beijing* 100038, *China*)

Abstract: The spatial relationship between water and economy is the hot spot of water resources research in arid and semi-arid areas. It reveals the evolution law and causality of the spatial distribution of water versus economy which can provide theoretical and decision-making reference for optimizing the rational allocation of water resources and rationally adjusting industrial structure policies. In this paper, the water footprint theory was used to calculate the crop water footprints in various prefectures in Xinjiang, China from 1991 to 2015, and based on this, the spatial evolution law and the relationship between the crop water footprint and the economy were analyzed in combination with the value added of the first industry, the gross domestic product and the entropy of the crops using the information entropy theory. The results show that the spatial evolution between the water footprint of the crops and the value added of the first industry and GDP demonstrated a balanced and well-organized trend with a gradually deflating spatial disequilibrium of water versus economy. The crop water footprint in Xinjiang has a significant influence on the spatial evolution of the value added of the first industry with an influencing period being 1 to 5 years. The spatial distribution of agricultural economy is restricted chronically by the spatial distribution of agricultural water resources. There is no causal relationship between the water footprint of crops and the GDP. The economic development in Xinjiang is turning to the second industry and the tertiary industry for a development transformation, and the agricultural economy no longer significantly affects the economic development in Xinjiang.

Key words: water resources; spatial analysis; cointegration equation; crop water footprint; lag period; Xinjiang